

[2]

2002 P 73 0 79



B4

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :</b> <b>G06F 1/7</b>	<b>A2</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/34850</b> <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 15. Juni 2000 (15.06.00)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE99/03799 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 1. Dezember 1999 (01.12.99)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 198 56 109.1      4. Dezember 1998 (04.12.98)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> FRANKL, Astrid [DE/DE]; Safferlingstrasse 1, D-80634 München (DE). SCHÄFFLER, Stefan [DE/DE]; Paul-Lincke-Strasse 15, D-86199 Augsburg (DE). SCHULTZ, Reinhart [DE/DE]; Deisenhofener Weg 8, D-82008 Unterhaching (DE). WEINZIERL, Klaus [DE/DE]; Grossvenediger Strasse 33, D-81671 München (DE).  <b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
<b>(54) Title:</b> METHOD AND ARRANGEMENT FOR DESIGNING A TECHNICAL SYSTEM <b>(54) Bezeichnung:</b> VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM ENTWURF EINES TECHNISCHEN SYSTEMS <b>(57) Abstract</b> <p>The invention relates to the design of a technical system which comprises several target functions. A searching direction is determined for the target functions. The values of the target function are improved along said searching function. An iterative determination of the search direction leads to an efficient working point which is useful for the design of the technical system.</p> <b>(57) Zusammenfassung</b> <p>Die Erfindung ermöglicht den Entwurf eines technischen Systems, das mehrere Zielfunktionen umfasst, indem für die Zielfunktionen eine Suchrichtung ermittelt wird, entlang derer eine Verbesserung der Werte der Zielfunktionen bewirkt wird. Eine iterative Ermittlung der Suchrichtung führt zu einem effizienten Arbeitspunkt, der zum Entwurf des technischen Systems geeignet ist.</p>		

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidsschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung**Verfahren und Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems.

Für ein komplexes technisches System sind in einer frühen Planungsphase oder auch während des Betriebs mehrere  
10 signifikante Größen wie Kosten für eine Herstellung oder ein Wirkungsgrad des Systems von Interesse. Eine Abhängigkeit jeder dieser Größen von einer vorgegebenen Menge  $n$  auf sie Einfluß nehmende Parameter (Design- und Betriebsparameter), zusammengefaßt in einem Parametervektor  $\underline{x}$  der Dimension  $n$ ,  
15 wird durch eine Zielfunktion erfaßt.

Da mehrere Zielfunktionen mit zueinander konkurrierenden Zielen gegeben sind, ist sicherzustellen, daß die Parameter gleichzeitig für die gegebenen Zielfunktionen eine Lösung mit  
20 ausreichender Güte darstellen.

Bei der Behandlung mehrerer Zielgrößen ist es bekannt, sämtliche Zielgrößen durch Konvexkombination zu einer einzigen skalaren Zielgröße zusammenfassen. Das entstehende  
25 skalare Optimierungsproblem kann sodann mit bekannten Verfahren gelöst werden. Eine Konvexkombination der Zielgrößen ist dabei die Summe aller Zielgrößen, jeweils multipliziert mit einem Faktor, wobei jeder Faktor größer oder gleich null ist und die Summe aller Faktoren eins ist.  
30 Beispielsweise seien drei Zielgrößen  $z_1$ ,  $z_2$  und  $z_3$  gegeben, die zugehörigen Faktoren sind  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  und  $\alpha_3$ . Die Konvexkombination KK ist damit gegeben als

$$KK = \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3$$

35

mit

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \geq 0 \quad \text{und} \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1.$$

- Die **Aufgabe** der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems
- 5 anzugeben, wobei Parameter des Systems bestimmt werden, die im Hinblick auf mehrere vorgegebene Zielfunktionen optimal sind. Dabei werden alle Zielfunktionen gemäß der partiellen Vektorordnung einbezogen.
- 10 Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen.

- Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren angegeben, das den
- 15 Entwurf eines technischen System ermöglicht. Das technische System umfaßt mehrere k Zielfunktionen

$$(f_1, f_2, \dots, f_k) = \underline{f}^T \quad (1),$$

- 20 wobei jede Zielfunktion von einer vorgegebenen Menge aus n Parametern

$$(x_1, x_2, \dots, x_n) = \underline{x}^T \quad (2),$$

- 25 zusammengefaßt in einem Parametervektor  $\underline{x}$ , beeinflußbar ist.

- Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird davon ausgegangen, daß die Zielfunktionen maximiert werden sollen. Sofern eine der Zielfunktionen minimiert werden soll, wird sie durch
- 30 Multiplikation mit "-1" in eine zu maximierende Zielfunktion umgewandelt. Die hier gemachten Ausführungen können auf beide Fälle, Maximierung und Minimierung, in beliebiger Zusammensetzung gleichermaßen angewandt werden.

- 35 Die mehreren Zielfunktionen sind in Gleichung (1) als ein Vektor zusammengefaßt. Der hochgestellte Buchstabe "T" deutet an, daß der Vektor transponiert ist.

Für den Parametervektor  $\underline{x}$  wird eine Suchrichtung  $z$  derart bestimmt, daß durch einen Schritt entlang der Suchrichtung die Zielfunktionen, insbesondere alle Zielfunktionen, verbessert werden. Ein Parametervektor, der auf einem durch die Suchrichtung bestimmten Pfad liegt, wird für den Entwurf des technischen Systems eingesetzt.

In einer Weiterbildung werden für den Parametervektor  $\underline{x}$  die Gradienten der (insbesondere aller) Zielfunktionen berechnet und die Suchrichtung durch folgende Beziehung bestimmt:

$$z^T \cdot g_i > 0 \quad (3),$$

wobei  $z$  die Suchrichtung und  $g_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) die Gradienten der  $k$  Zielfunktionen bezeichnen.

Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß Konvexkombinationen der Gradienten ermittelt werden, wobei diejenige Konvexkombination bestimmt wird, die den kleinsten Abstand zum Nullpunkt aufweist.

Eine Ausgestaltung besteht darin, daß iterativ entlang der Suchrichtung der Pfad fortgesetzt wird gemäß der Vorschrift

$$x_{j+1} = x_j + \sigma \cdot z_j \quad (4),$$

wobei  $\sigma$  eine Schrittweite und  $j$  einen Iterationsschritt bezeichnen. Bei der Iteration wird der nächste Parametervektor gleich dem Parametervektor  $x$  gesetzt und zu dem Schritt verzweigt, in dem die Gradienten der Zielfunktionen ermittelt werden. Dadurch ist gewährleistet, daß entlang eines Pfades, der entsprechend den Iterationen des Verfahrens mehrere Parametervektoren umfaßt, von Iterationsschritt zu Iterationsschritt der jeweils nächste Parametervektor im Vergleich zu seinem Vorgänger einen qualitativ verbesserten Entwurf (eine höhere Güte) des

technischen Systems insbesondere im Hinblick auf sämtliche Zielgrößen gewährleistet.

Die Schrittweite  $\sigma$  kann von abhängig vom Iterationsschritt  
5 angepaßt werden. So ist es beispielsweise möglich, alle  $m$  Schritte die Schrittweite zu verkürzen, insbesondere zu halbieren (Bisektion).

Die Güte für den Entwurf des technischen Systems wird  
10 abhängig für jede Zielfunktion bewertet. Jede Wertebelegung der Parameter (bezeichnet als Wert des Parametervektors  $\underline{x}$ ) ergibt für jede Zielfunktion einen Wert für die Güte. Dementsprechend können die Zielfunktionen als miteinander konkurrierend verstanden werden. Eine hohe Güte der einen  
15 Zielfunktion entspricht i.d.R. einer niedrigen Güte zumindest einer anderen Zielfunktion. Beispiele für Zielfunktionen, insbesondere für konkurrierende Zielfunktionen, sind:

$$\underline{f}^T = (f_1, f_2) = (\text{Anlagenwirkungsgrad, Investitionskosten})$$

20

oder

$$\underline{f}^T = (f_1, f_2, f_3) = (\text{Produktdurchsatz, Ausfall-  
wahrscheinlichkeit, Schadstoffausstoß}).$$

25

Dabei kann unterschiedlich, abhängig von der jeweiligen Zielfunktion, eine Minimierung oder eine Maximierung erfolgen: Im Beispiel ist der Anlagenwirkungsgrad zu maximieren und die Investitionskosten sind zu minimieren. Ein  
30 Gradient der Zielfunktion zeigt an, in welcher Richtung sich eine Verbesserung (Maximierung oder Minimierung) einstellt.

Für einen erfolgreichen Entwurf, also eine gelungene Kompromißlösung zwischen den konkurrierenden Zielfunktionen,  
35 werden Werte für den Parametervektor bestimmt, die jeweils **effizient** sind. Eine effiziente Wertebelegung des Parametervektors bedeutet, daß kein Parameter des

Parametervektors verändert werden kann, ohne daß sich dadurch eine Verschlechterung für die Güte mindestens einer Zielfunktion ergäbe. Solch eine Wert des Parametervektors wird als effizienter Punkt oder als paretooptimaler Punkt  
5 bezeichnet.

Ein technisches System kann eine Anlage der Verfahrenstechnik oder ein sonstiges System sein, das im Hinblick auf unterschiedliche Parameter auszulegen oder einzustellen ist.  
10 Insbesondere können die Parameter des Parametervektors  $\underline{x}$  Auslegungsparameter oder Betriebsparameter des technischen Systems sein. Betriebsparameter kennzeichnen mögliche einstellbare Größen, während Auslegungsparameter insbesondere physikalische Abmessungen des technischen Systems beschreiben  
15 und während des Betriebs zumeist nur mit hohem Aufwand angepaßt oder verändert werden können.

Eine andere Ausgestaltung besteht darin, daß die Iteration solange fortgesetzt wird, bis eine Abbruchbedingung erfüllt  
20 ist. Die Abbruchbedingung kann darin bestehen, daß eine vorgegebenen Anzahl Iterationen durchgeführt wurde. In diesem Fall ist sichergestellt, daß das Verfahren nach einer gewissen Zeit terminiert und der zuletzt ermittelte Parametervektor eine geeignete Näherung für den gesuchten  
25 effizienten Punkt darstellt. Eine besonders bevorzugte Abbruchbedingung ist der Zustand, in dem keine neue Suchrichtung mehr gefunden werden kann, die eine Verbesserung der Zielfunktion bewirken würde. Dies ist bevorzugt dann der Fall, wenn der Nullpunkt im Bereich der Konvexkombination  
30 aller Gradienten liegt.

Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß die Gradienten auf die Länge des kürzesten Gradienten normiert werden.

35 Wahlweise kann anhand des mit dem beschriebenen Verfahren ermittelten Parametervektors ein Neuentwurf des technischen Systems oder eine Anpassung eines bereits existierenden

technischen Systems erfolgen. In beiden Fällen handelt es sich um einen Entwurf (einmal als Neugenerierung und einmal zur Anpassung) im Sinne der vorliegenden Ausführungen.

- 5 Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltung wird das technische System anhand der ermittelten Parameter realisiert bzw. eingestellt. Hierbei ist es von Vorteil, daß die Parameter in einem Parametervektor, der mittels der Erfindung bestimmt wurde, einen stabilen Betriebspunkt kennzeichnen und die
- 10 Einstellung des Systems auf diesen Betriebspunkt einen dauerhaft sicheren Betrieb des Systems/der Anlage gewährleistet.

- Insbesondere liefert das beschriebene Verfahren nach einem
- 15 Durchgang mit gegebenenfalls zahlreichen Iterationen einen effizienten Punkt (Parametervektor).

- Um **mehrere effiziente Punkte** zu erhalten, wird die Bestimmung der Suchrichtung mit einer **stochastischen Größe** überlagert.
- 20 Dies hat zur Folge, daß sich bei wiederholter Anwendung des Verfahrens mehrere unterschiedliche effiziente Punkte ergeben. Dabei ist es von Vorteil, daß durch die Überlagerung mit der stochastischen Größe mit hoher Wahrscheinlichkeit ein global effizienter Punkt bestimmt wird. Lokal effiziente
- 25 Punkte werden durch die Zufallsgröße überwunden, indem durch Streuung anhand der Zufallsgröße auch die Umgebung dieses vermeintlich effizienten Punktes auf weitere Verbesserungsmöglichkeit hin untersucht wird. Dies führt mit hoher Sicherheit dazu, daß in der Umgebung eines lokal
- 30 effizienten Punktes es eine weitere Verbesserungsmöglichkeit gibt, entlang derer der Pfad hin zum global effizienten Punkt weiterverfolgt wird.

- Weiterhin ist es von Vorteil, daß durch die stochastische
- 35 Überlagerung mehrere verschiedene effiziente Punkte bestimmbar sind, die entlang einer Linie im n-Raum (n: Dimension des Parameterraums) liegen und somit, bei



ausreichend häufiger Wiederholung des Verfahrens, diese Linie mit effizienten Punkten deutlich markiert.

Im Rahmen einer Feinauslegung des technischen Systems, z.B. einer technischen Anlage, ist manchmal eine Einstellung gemäß den Vorgaben eines ermittelten effizienten Punkts (Parametervektor) nicht realisierbar. Ferner kann es sein, daß eine berechnete effiziente Einstellung in der Gesamtsicht aller Zielvorstellungen noch kein befriedigender Kompromiß ist. In solchen Fällen wird bevorzugt auf eine Alternativlösung, also einen anderen effizienten Punkt, zurückgegriffen. Die Erfindung ermöglicht anhand oben beschriebener Ausgestaltung die automatische Generierung einer Menge von Alternativlösungen, deren jede im Hinblick auf die Einstellung oder Auslegung des technischen Systems bzw. der technischen Anlage eine effiziente Realisierung darstellt.

Eine Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß die stochastische Größe gegeben ist durch

$$\varepsilon B_t, \quad (5)$$

wobei  $\varepsilon$  eine für eine Skalierung vorgebbare Konstante und  $B_t$  eine Zufallszahl bezeichnen.

Zur Lösung der Aufgabe wird ferner eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, welches mehrere vorgegebene Zielfunktionen aufweist, wobei jede Zielfunktion von einer vorgegeben Menge von  $n$  Parametern beeinflusst wird und eine Wertebelugung der  $n$  Parameter in einem Parametervektor  $\underline{x}$  zusammengefaßt ist. Die Anordnung umfaßt eine Prozessoreinheit, die derart eingerichtet ist, daß

- a) für den Parametervektor  $\underline{x}$  Gradienten aller Zielfunktionen bestimmbar sind;

- b) eine Suchrichtung derart bestimmbar ist, daß durch einen Schritt entlang der Suchrichtung die Zielfunktionen verbessert werden;
- 5 c) ein Parametervektor, der auf einem Pfad entlang der Suchrichtung liegt und Werte aller Zielgrößen verbessert, zum Entwurf des technischen Systems einsetzbar ist.
- 10 Diese Anordnung ist insbesondere geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder einer seiner vorstehend erläuterten Weiterbildungen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand  
15 der Zeichnung dargestellt und erläutert.

Es zeigen

Fig.1 einen Ablauf eines Verfahrens zum Entwurf eines  
20 technischen Systems;

Fig.2 eine Skizze, die einen Parameterraum mit Gradienten der Zielfunktionen darstellt;

25 Fig.3 eine Proessoreinheit.

In **Fig.1** ist ein Blockdiagramm dargestellt, das Schritte eines Verfahrens zum Entwurf eines technischen Systems darstellt.

30

Das technische System ist beschreibbar durch zwei oder mehrere Zielfunktionen, deren jede von einer vorgegeben Menge  $n$  Parameter abhängt, welche Parameter in einem Parametervektor  $\underline{x}$  zusammengefaßt sind. Eine Wertebelegung der  
35 Parameter wird als Wert des Parametervektor  $\underline{x}$  bezeichnet. Dieser Wert des Parametervektors  $\underline{x}$  stellt eine mögliche Belegung der Parameter  $x_1, x_2, \dots, x_n$  dar. Bei den

- Parametern handelt es sich vorzugsweise um Auslegungsparameter oder Betriebsparameter (Betriebspunkte) des technischen Systems, insbesondere einer technischen Anlage. Zur Ermittlung einer Wertebelegung für den
- 5 Parametervektor  $\underline{x}$ , der im Hinblick auf die Auslegung oder des Betriebs des technischen Systems ein effizienter Punkt (siehe obige Erklärung) ist, wird wie folgt verfahren:

- In einem Schritt 101 wird ein Startwert für den
- 10 Parametervektor  $\underline{x}_i$  vorgegeben. In einem Schritt 102 werden die Gradienten der Zielfunktionen für den Parametervektor  $\underline{x}_i$  ermittelt. Anhand der durch die Gradienten vorgegebenen Richtungen wird in einem Schritt 103 eine Konvexkombination der Gradienten bestimmt. Ein durch diese Konvexkombination
- 15 beschriebener Bereich umfaßt mehrere Punkte (Parametervektoren), aus denen der Punkt ermittelt wird, der den kleinsten Abstand zum Nullpunkt aufweist. Ein Vektor durch den Nullpunkt und den ermittelten Punkt gibt eine Richtung an (vgl. Schritt 104), entlang der mit einer
- 20 vorgegebenen Schrittweite verfahren und dadurch der nächste Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$  bestimmt wird (vgl. Schritt 105). In Schritt 106 wird geprüft, ob eine Abbruchbedingung erfüllt ist. Die Abbruchbedingung ist vorzugsweise erfüllt, falls eine vorbestimmte Anzahl an Iterationsschritten ausgeführt
- 25 worden ist. Dann wird das Verfahren in einem Schritt 107 beendet, ansonsten wird in einem Schritt 108 der nächste Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$  gleich dem Parametervektor  $\underline{x}_i$  gesetzt und zu Schritt 102 verzweigt.
- 30 Insbesondere wird in Schritt 103 die mit einer stochastischen Größe überlagerte Konvexkombination der Gradienten ermittelt und somit sichergestellt, daß in jedem Iterationsschritt eine skalierte Zufallsgröße auf die Richtung Einfluß nimmt. Dadurch ergeben sich für einen Startwert  $\underline{x}_i$  unterschiedliche
- 35 Parametervektoren, wobei mit hoher Wahrscheinlichkeit nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationsschritten der aus dem Verfahren resultierende Parametervektor in der Nähe bzw. auf

einer Linie der effizienten Punkte liegt. Daher ist es möglich, Punkte dieser Linie durch wiederholte Anwendung des Verfahrens unter Berücksichtigung der stochastischen Größe zu erhalten. Die Anzahl der Wiederholungen ist schließlich  
5 maßgebend für die Auflösung der beschriebener Linie effizienter Punkte.

In diesem Zusammenhang sei bemerkt, daß es keine Rolle spielt, auf welche Art und Weise die Funktionswerte der  
10 Zielfunktionen ermittelt werden. So ist es möglich, daß ein rechnergestütztes Simulationsprogramm für ein komplexes technisches System einen Wert einer Zielfunktionen, abhängig vom Parametervektor  $\underline{x}$ , bestimmt oder aber die Ermittlung des Funktionswertes analytisch erfolgt. Auch die Festlegung der  
15 Gradienten kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Eine Möglichkeit ist der Einsatz numerischer Verfahren, eine andere die analytische Berechnung aufgrund gegebener mathematischer Zusammenhänge und eine weitere Möglichkeit ist das automatische Differenzieren.

20 Nachfolgend wird eine Einsatzmöglichkeit des Verfahrens näher erläutert.

Ein dem Parametervektor  $\underline{x}_i$  nachfolgender Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$   
25 wird bestimmt gemäß (4) unter optionalen Berücksichtigung der stochastischen Überlagerung der Suchrichtung gemäß (5).

Dabei ist es alternativ möglich, anhand einer oben bezeichneten rechnergestützten Simulation eine Reihe von  
30 Werten für die Simulation des technischen Systems zu erhalten, wobei die Simulationswerte geeignet verarbeitet werden müssen, ehe der Wert der jeweiligen Zielfunktion erhalten wird. Mit den Werten der Zielfunktionen werden die Gradienten bestimmt, das oben beschriebene Verfahren läuft ab  
35 und es ergibt sich der nächste Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$ . Mit diesem nächsten Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$  werden wieder Simulationswerte ermittelt und wie oben weiterverarbeitet.

Dies Schleife läuft für eine vorgegebene Anzahl Iterationen ab.

In jeder Iteration wird von dem jeweils aktuellen  
5 Parametervektor  $\underline{x}_i$  ein Weg (mit vorgegebener Schrittweite)  
zum jeweils nächsten Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$  zurückgelegt. Durch  
die einzelnen Schritte ergibt sich ein Pfad, der von dem  
Startpunkt  $\underline{x}_0$  hin zu einem Endpunkt  $\underline{x}_m$  (als letzter  
Parametervektor des oben beschriebenen Verfahrens) führt,  
10 falls m Iterationsschritte durchgeführt wurden.

Die als Suchrichtung verwendete Konvexkombination KK wird  
bestimmt, indem die Gradienten der Zielfunktionen ermittelt  
werden. Im folgenden Beispiel seien drei Zielfunktionen  $f_1$ ,  
15  $f_2$  und  $f_3$  angenommen. Numerisch oder analytisch ergeben sich  
die drei Gradienten

$$\nabla f_1 = \bar{g}_1$$

$$20 \quad \nabla f_2 = \bar{g}_2 \quad (7).$$

$$\nabla f_3 = \bar{g}_3$$

Jede Konvexkombination ergibt sich somit durch

$$25 \quad KK = \alpha_1 \bar{g}_1 + \alpha_2 \bar{g}_2 + \alpha_3 \bar{g}_3 \quad (8a)$$

mit

$$30 \quad \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \geq 0 \quad (8b)$$

und

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (8c).$$

35

Die Richtung  $\bar{s}$  entlang des Pfades wird bestimmt, indem das  
System aus (8a), (8b) und (8c) gelöst wird, wobei die

12

Richtung  $\bar{s}$  durch den Nullpunkt und demjenigen Punkt aus dem Bereich der Konvexkombination bestimmt ist, der den kürzesten Abstand vom Nullpunkt aufweist. Damit zeigt  $\bar{s}$  in die Richtung entlang oben definierten Pfades, auf dem in  
5 vorgegebener Schrittweite der nächste Parametervektor liegt.

Im Folgenden soll anhand einer Flüssigkeitspumpe für den Mittelvakuumbereich auf die Abhängigkeiten zwischen Parametern und Zielfunktionen eingegangen werden. Im Beispiel  
10 der Flüssigkeitspumpe sind die Zielgrößen

i. ein isothermischer Wirkungsgrad  $\eta$  in %,

ii. ein Saugvermögen  $\dot{V}$  in  $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ,

15

iii. ein Leistungsbedarf  $P$  in kW und

iv. ein Betriebsflüssigkeitsbedarf  $\dot{V}_F$  in  $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ .

20 Die Flüssigkeitspumpe hängt von neun wichtigen Einflußgrößen (Parameter) ab:

a) Saugschlitzbeginn,

b) Gehäuseverschiebung horizontal,

25 c) Gehäuseverschiebung vertikal,

d) Gehäuseradius,

e) Nabensteigung,

f) Gehäuseexzentrität,

g) Drucksichelende,

30 h) Druckschlitz-Ventilabdeckung und

i) B/D-Verhältnis.

Somit hängen bei der Flüssigkeitspumpe jede der Zielfunktionen i-iv von zumeist mehreren der Parameter a) bis  
35 i) ab. In diesem Fall beträgt die Dimension des

Parametervektors  $n=9$ , die Gradienten der vier Zielfunktionen spannen eine Teilmenge im neundimensionalen Parameterraum auf. In diesem Bereich (Konvexkombination) ergibt sich die Suchrichtung mit oben bezeichneten Verfahren. Entlang der

5 Suchrichtung folgt ein neuer Wert für einen Parametervektor, für den wiederum Zielfunktionswerte und deren Gradienten zu bestimmen sind.

**Fig.2** zeigt einen zweidimensionalen ( $n=2$ )  $x_1, x_2$ -

10 Parameterraum, in dem ein Startpunkt (aktueller Parametervektor)  $\underline{x}_0$  eingetragen ist. In Fig.2 soll anhand des Parameterraums geringer Dimension die Ermittlung der Suchrichtung  $\bar{s}$  veranschaulicht werden.

15 Zu dem Startpunkt  $\underline{x}_0$  205 werden die Gradienten  $\bar{g}_1$ ,  $\bar{g}_2$  und  $\bar{g}_3$  der Zielfunktionen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  ermittelt. Der Gradient  $\bar{g}_1$  zeigt zu Punkt 201,  $\bar{g}_2$  zu Punkt 202 und  $\bar{g}_3$  zu Punkt 203. Die Dreiecksfläche, bestimmt durch die Punkte 201, 202 und 203, umfaßt alle Punkte der Konvexkombination. Es soll derjenige

20 Punkt im Bereich der Konvexkombination (also in der besagten Dreiecksfläche) ermittelt werden, der zu dem Startpunkt  $\underline{x}_0$  205 den geringsten Abstand aufweist. Diese Bedingung erfüllt der Punkt 204. Der Vektor von dem Startpunkt  $\underline{x}_0$  205 zu dem Punkt 204 steht senkrecht auf der Verbindungslinie der Punkte

25 201 und 203. Der Punkt 204 ist der nächste Punkt  $\underline{x}_{i=1}$  des Pfades zum effizienten Punkt für das zugrundeliegende technische System. In dem Punkt 204 sind wiederum die Gradienten der Zielfunktionen zu bestimmen und eine neue Suchrichtung nach beschriebenem Schema zu ermitteln.

30

In **Fig.3** ist eine Prozessoreinheit PRZE dargestellt. Die Prozessoreinheit PRZE umfaßt einen Prozessor CPU, einen Speicher SPE und eine Input/Output-Schnittstelle IOS, die über ein Interface IFC auf unterschiedliche Art und Weise

35 genutzt wird: Über eine Grafikschnittstelle wird eine Ausgabe auf einem Monitor MON sichtbar und/oder auf einem Drucker PRT ausgegeben. Eine Eingabe erfolgt über eine Maus MAS oder eine

Tastatur TAST. Auch verfügt die Prozessoreinheit PRZE über einen Datenbus BUS, der die Verbindung von einem Speicher MEM, dem Prozessor CPU und der Input/Output-Schnittstelle IOS gewährleistet. Weiterhin sind an den Datenbus BUS zusätzliche  
5 Komponenten anschließbar, z.B. zusätzlicher Speicher, Datentspeicher (Festplatte) oder Scanner.



Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems,
  - 5 a) bei dem das technische System mehrere Zielfunktionen aufweist;
  - b) bei dem jede Zielfunktion von einer vorgegebenen Menge von n Parametern beeinflusst wird, wobei eine  
10 Wertebelegung der n Parameter in einem Parametervektor  $\underline{x}$  zusammengefaßt ist;
  - c) bei dem für den Parametervektor  $\underline{x}$  eine Suchrichtung derart bestimmt wird, daß durch einen Schritt entlang  
15 der Suchrichtung die Zielfunktionen verbessert werden.
  - d) bei dem ein Parametervektor, der auf einem Pfad entlang der Suchrichtung liegt, zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt wird.  
20
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
bei dem die Suchrichtung durch folgende Beziehung  
bestimmt wird:  
25 
$$\underline{z}^T \cdot \underline{g}_i > 0,$$
  
wobei  $\underline{z}$  die Suchrichtung und  $\underline{g}_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) die Gradienten der k Zielfunktionen bezeichnen.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem alle Zielfunktionen bei der Bestimmung der Suchrichtung berücksichtigt werden.
- 35 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem Konvexkombinationen der Gradienten ermittelt werden, wobei diejenige Konvexkombination bestimmt wird, die den kleinsten Abstand zum Nullpunkt aufweist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem iterativ entlang der Suchrichtung der Pfad  
fortgesetzt wird gemäß der Vorschrift:

5

$$x_{j+1} = x_j + \sigma \cdot z_j,$$

wobei  $\sigma$  eine Schrittweite und  $j$  einen Iterationsschritt  
bezeichnen.

10

6. Verfahren nach Anspruch 5,  
bei dem die Iteration solange fortgesetzt wird, bis eine  
Abbruchbedingung erfüllt ist.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 6,  
bei dem die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn der  
Nullpunkt im Bereich der Konvexkombination liegt.
8. Verfahren nach Anspruch 6,  
20 bei dem die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn eine  
vorgegebene Anzahl Iterationen durchgeführt worden ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem der Parametervektor als Parameter Betriebspunkte  
und/oder Auslegungsparameter des technischen Systems  
25 umfaßt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem das technische System anhand des aus den  
30 gewonnenen Parametern realisiert oder angepaßt wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem zusätzlich in Schritt c) der Gradient mit einer  
stochastischen Größe überlagert wird.
- 35 12. Verfahren nach Anspruch 11,  
bei dem die stochastische Größe gegeben ist durch

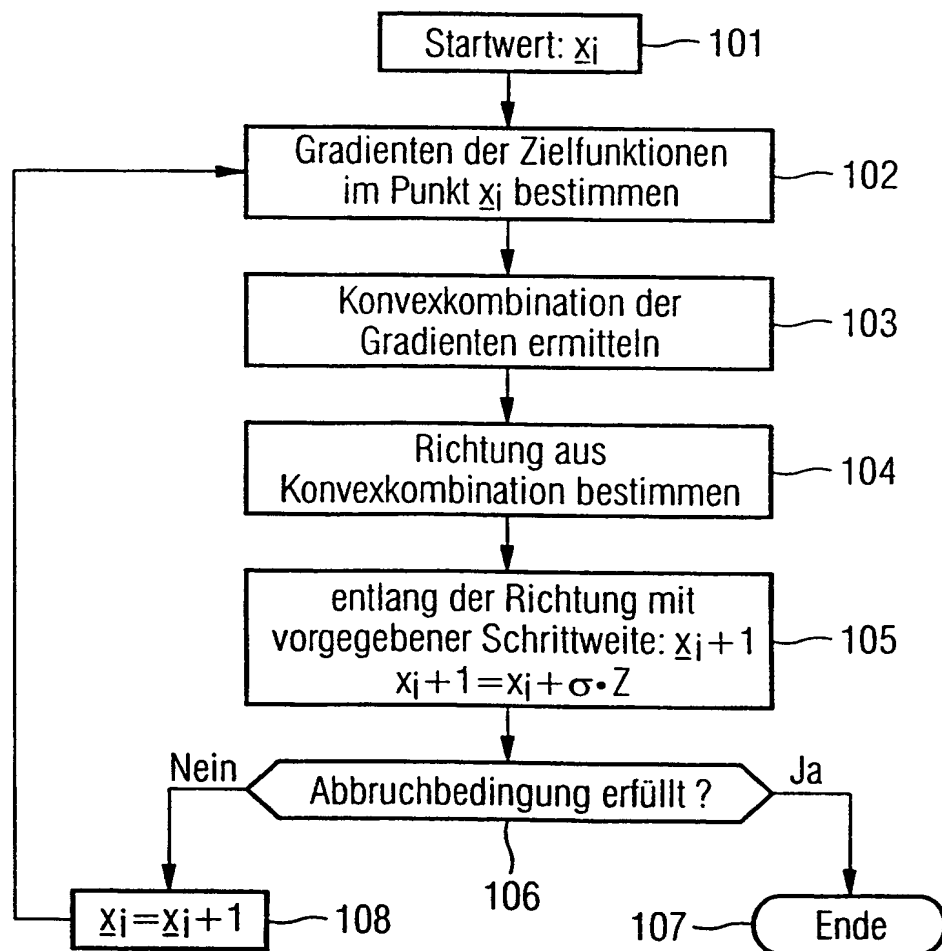
$\varepsilon B_t$ ,

5 wobei  $\varepsilon$  eine für eine Skalierung vorgebbare Konstante und  
 $B_t$  eine Zufallszahl bezeichnen.

13. Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems,  
das mehrere vorgegebene Zielfunktionen aufweist, wobei  
10 jede Zielfunktion von einer vorgegeben Menge von  $n$   
Parametern beeinflusst wird und eine Wertebelegung der  $n$   
Parameter in einem Parametervektor  $\underline{x}$  zusammengefaßt ist,  
mit einer Prozessoreinheit, die derart eingerichtet ist,  
daß  
15
- a) für den Parametervektor  $\underline{x}$  Gradienten aller  
Zielfunktionen bestimmbar sind;
  - b) eine Suchrichtung derart bestimmbar ist, daß durch  
20 einen Schritt entlang der Suchrichtung die  
Zielfunktionen verbessert werden;
  - c) ein Parametervektor, der auf einem Pfad entlang der  
Suchrichtung liegt, zum Entwurf des technischen  
25 Systems einsetzbar ist.

1/2

FIG 1



2/2

FIG 2

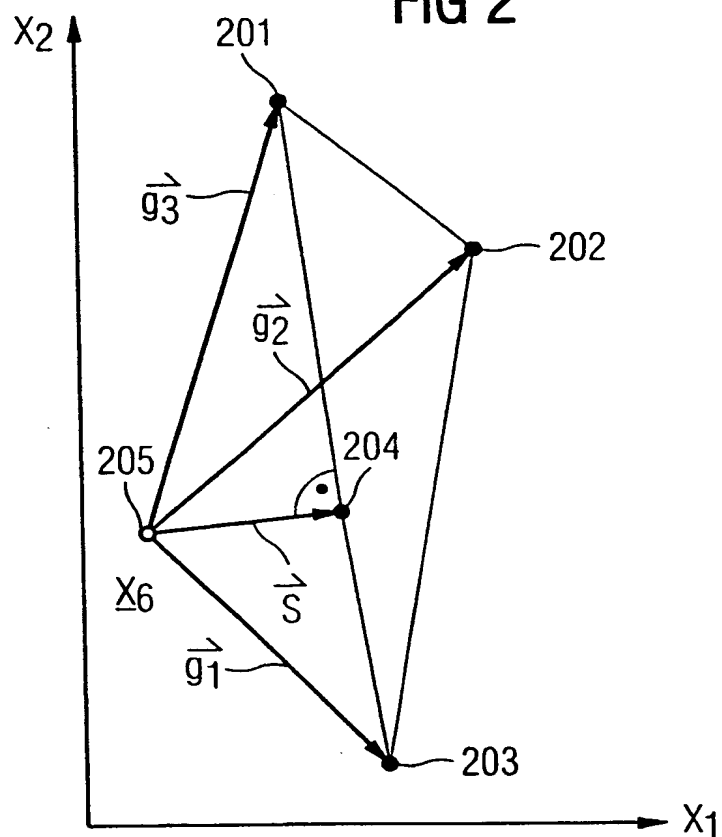
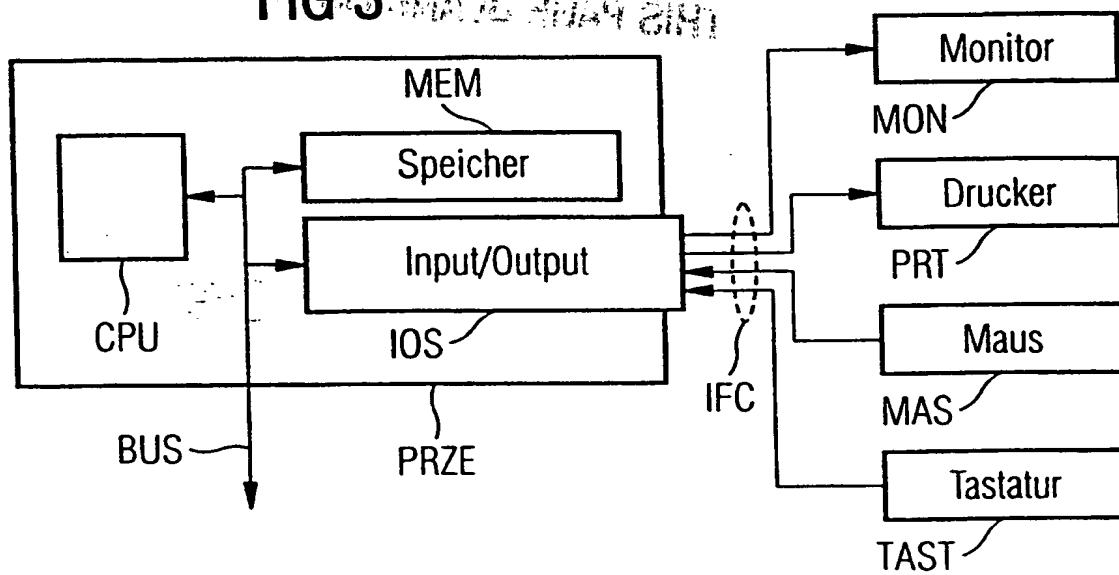


FIG 3



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

GEÄNDERTE FASSUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Juni 2000 (15.06.2000)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 00/34850 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G06F 17/60

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT: Postfach 22 16 34, D-80506 München  
(DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/03799

(22) Internationales Anmeldedatum:  
1. Dezember 1999 (01.12.1999)

(81) Bestimmungsstaat (*national*): US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

(30) Angaben zur Priorität:  
198 56 109.1 4. Dezember 1998 (04.12.1998) DE

— mit einer Erklärung gemäss Artikel 17 Absatz 2 Buchstabe  
a: ohne Zusammenfassung; Bezeichnung von der Interna-  
tionalen Recherchenbehörde nicht überprüft



(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).

(48) Datum der Veröffentlichung dieser geänderten  
Fassung: 24. Januar 2002

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRANKL, Astrid  
[DE/DE]; Saffterlingstrasse 1, D-80634 München (DE).  
SCHÄFFLER, Stefan [DE/DE]; Paul-Linke-Strasse  
15, D-86199 Augsburg (DE). SCHULTZ, Reinhart  
[DE/DE]; Deisenhofener Weg 8, D-82008 Unterhaching  
(DE). WEINZIERL, Klaus [DE/DE]; Grossvenediger  
Strasse 33, D-81671 München (DE).

(15) Informationen zur Berichtigung:  
siehe PCT Gazette Nr. 04/2002 vom 24. Januar 2002, Sec-  
tion II

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

WO 00/34850 A2

(54) Title: METHOD AND ARRANGEMENT FOR DESIGNING A TECHNICAL SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM ENTWURF EINES TECHNISCHEN SYSTEMS

(57) Abstract:

(57) Zusammenfassung:

BEST AVAILABLE COPY

# PATENT COOPERATION TREATY

## PCT

### DECLARATION OF NON-ESTABLISHMENT OF INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 17(2)(a), Rules 13ter.1(c) and Rule 39)

Applicant's or agent's file reference <b>98P5860P</b>	IMPORTANT DECLARATION	Date of mailing (day/month/year) <b>01/10/2001</b>
International application No. <b>PCT/DE 99/ 03799</b>	International filing date (day/month/year) <b>01/12/1999</b>	(Earliest) Priority date (day/month/year) <b>04/12/1998</b>
International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC <div style="text-align: right;">G06F17/60</div>		
Applicant <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.</b>		

This International Searching Authority hereby declares, according to Article 17(2)(a), that no international search report will be established on the international application for the reasons indicated below

1. ☒ The subject matter of the international application relates to:
  - a. ☐ scientific theories.
  - b. ☒ mathematical theories
  - c. ☐ plant varieties.
  - d. ☐ animal varieties.
  - e. ☐ essentially biological processes for the production of plants and animals, other than microbiological processes and the products of such processes.
  - f. ☒ schemes, rules or methods of doing business.
  - g. ☐ schemes, rules or methods of performing purely mental acts.
  - h. ☐ schemes, rules or methods of playing games.
  - i. ☐ methods for treatment of the human body by surgery or therapy.
  - j. ☐ methods for treatment of the animal body by surgery or therapy.
  - k. ☐ diagnostic methods practised on the human or animal body.
  - l. ☐ mere presentations of information.
  - m. ☐ computer programs for which this International Searching Authority is not equipped to search prior art.
  
2. ☐ The failure of the following parts of the international application to comply with prescribed requirements prevents a meaningful search from being carried out:
 

☐ the description
 ☐ the claims
 ☐ the drawings
  
3. ☐ The failure of the nucleotide and/or amino acid sequence listing to comply with the standard provided for in Annex C of the Administrative Instructions prevents a meaningful search from being carried out:
 

☐ the written form has not been furnished or does not comply with the standard.

☐ the computer readable form has not been furnished or does not comply with the standard.
  
4. Further comments:  

see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA203

Name and mailing address of the International Searching Authority European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer
--	--------------------

BEST AVAILABLE COPY



The subject matter of claims 1-12 (method claims) falls under the provisions of PCT Article 17(2) (a) (I) and Rule 39.1 (i, iii) (schemes, rules or methods of doing business and mathematical methods).

Claim 13 relates to usual technological measures for exercising a commercial activity and for implementing mathematical methods. Although literally said claim does not pertain to the category of methods, it does however seek protection for the same commercial effect and the same mathematical method as the method claims. In the light of guidelines, B-VIII, paragraphs 1-6, the International Searching Authority is of the view that a search on said commercial characteristics and said mathematical methods would serve no useful purpose. The same applies to the usual technological measures contained in said claim.

The applicant's attention is drawn to the fact that patent claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (PCT Rule 66.1(e)). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective whether or not the patent claims are amended following receipt of the International Search Report (PCT Art. 19) or whether or not the applicant files new patent claims during any PCT Chapter II procedure. After entering into the regional phase before the EPO, an additional search can be carried out during the examination (see EPO Guidelines C-VI, 8.5) if the deficiencies which led to the declaration in accordance with PCT Article 17 (2) have been corrected.

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

## PCT

ERKLÄRUNG ÜBER DIE NICHTERSTELLUNG EINES INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTS

(Artikel 17 (2) a) und Regeln 13ter. 1 c) und 39 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>98P5860P</b>	WICHTIGE ERKLÄRUNG	Absenddatum (Tag/Monat/Jahr) <b>01/10/2001</b>
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/DE 99/ 03799</b>	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <b>01/12/1999</b>	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <b>04/12/1998</b>
Internationale Patentklassifikation (IPC) oder nationale Klassifikation und IPC <b>G06F17/60</b>		
Anmelder <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.</b>		

Die Internationale Recherchenbehörde erklärt gemäß Artikel 17(2)a), daß für die internationale Anmeldung aus den nachstehend aufgeführten Gründen **kein internationaler Recherchenbericht erstellt wird.**

1. ☒ Der Gegenstand der internationalen Anmeldung betrifft folgende Gebiete:

- a. ☐ wissenschaftliche Theorien.
- b. ☒ mathematische Theorien.
- c. ☐ Pflanzensorten.
- d. ☐ Tierarten.
- e. ☐ im wesentlichen biologische Verfahren zur Züchtung von Pflanzen und Tieren mit Ausnahme mikrobiologischer Verfahren und der mit Hilfe dieser Verfahren gewonnenen Erzeugnisse.
- f. ☒ Pläne, Regeln und Verfahren für eine geschäftliche Tätigkeit.
- g. ☐ Pläne, Regeln und Verfahren für rein gedankliche Tätigkeiten.
- h. ☐ Pläne, Regeln und Verfahren für Spiele.
- i. ☐ Verfahren zur chirurgischen oder therapeutischen Behandlung des menschlichen Körpers.
- j. ☐ Verfahren zur chirurgischen oder therapeutischen Behandlung des tierischen Körpers.
- k. ☐ Diagnostizierverfahren zur Anwendung am menschlichen oder tierischen Körper.
- l. ☐ bloße Wiedergabe von Informationen.
- m. ☐ Programme von Datenverarbeitungsanlagen, in bezug auf die die Internationale Recherchenbehörde nicht für die Durchführung einer Recherche über den Stand der Technik ausgerüstet ist.


2. ☐ Die folgenden Teile der internationalen Anmeldung entsprechen nicht den vorgeschriebenen Anforderungen so daß eine sinnvolle Recherche nicht durchgeführt werden kann:

☐ die Beschreibung      ☐ die Ansprüche      ☐ die Zeichnungen

3. ☐ Das Protokoll der Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenzen entspricht nicht dem in Anlage C der Verwaltungsvorschriften vorgeschriebenen Standard, so daß eine sinnvolle Recherche nicht durchgeführt werden kann.

☐ Die schriftliche Form wurde nicht eingereicht bzw. entspricht nicht dem Standard.  
☐ Die computerlesbare Form wurde nicht eingereicht bzw. entspricht nicht dem Standard.

4. Weitere Bemerkungen:

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040 Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter <b>María Rodríguez Nóvoa</b>
---	---

**BEST AVAILABLE COPY**

## WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 203

Der Gegenstand der Ansprüche 1-12 (Verfahrensansprüche) fällt unter die Bestimmungen des Artikels 17(2)(a)(i) und der Regel 39.1(i, iii) PCT (Pläne, Regeln und Verfahren für eine geschäftliche Tätigkeit und mathematische Methode).

Anspruch 13 bezieht sich auf übliche Technologie- maßnahmen zur Ausübung einer geschäftlichen Tätigkeit und zur Durchführung einer Mathematischen Methode. Selbst wenn dieser Anspruch, wörtlich genommen, nicht zur Verfahrenskategorie gehören, begehrt er doch Schutz für den gleichen kommerziellen Effekt und die gleiche mathematische Methode wie die Verfahrensansprüche. Unter Bezug auf die Richtlinien, B-VIII, Absätze 1-6 ist die Internationale Recherchenbehörde der Auffassung, daß eine Recherche dieser kommerziellen Merkmale und dieser mathematischen Methode keinem nützlichen Zweck dienen würde. Gleiches gilt für die in diesem Anspruch verbleibenden, üblichen Technologiemaßnahmen.

Der Anmelder wird darauf hingewiesen, daß Patentansprüche auf Erfindungen, für die kein internationaler Recherchenbericht erstellt wurde, normalerweise nicht Gegenstand einer internationalen vorläufigen Prüfung sein können (Regel 66.1(e) PCT). In seiner Eigenschaft als mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde wird das EPA also in der Regel keine vorläufige Prüfung für Gegenstände durchführen, zu denen keine Recherche vorliegt. Dies gilt auch für den Fall, daß die Patentansprüche nach Erhalt des internationalen Recherchenberichtes geändert wurden (Art. 19 PCT), oder für den Fall, daß der Anmelder im Zuge des Verfahrens gemäß Kapitel II PCT neue Patentansprüche vorlegt. Nach Eintritt in die regionale Phase vor dem EPA kann jedoch im Zuge der Prüfung eine weitere Recherche durchgeführt werden (Vgl. EPA-Richtlinien C-VI, 8.5), sollten die Mängel behoben sein, die zu der Erklärung gemäß Art. 17 (2) PCT geführt haben.

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**